

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第11期 Vol.34 No.11 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 11 期 2014 年 6 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

土壤大孔隙流研究现状与发展趋势..... 高朝侠,徐学选,赵娇娜,等 (2801)

能源基地生态修复

我国大型煤炭基地建设的生态恢复技术研究综述..... 吴 钢,魏 东,周政达,等 (2812)

国家大型煤电基地生态环境监测技术体系研究——以内蒙古锡林郭勒盟煤电基地为例.....

..... 魏 东,全 元,王辰星,等 (2821)

基于 DPSIR 模型的国家大型煤电基地生态效应评估指标体系 周政达,王辰星,付 晓,等 (2830)

西部干旱区煤炭开采环境影响研究..... 雷少刚,卞正富 (2837)

露天煤矿区生态风险受体分析——以内蒙古平庄西露天煤矿为例..... 高 雅,陆兆华,魏振宽,等 (2844)

草原区矿产开发对景观格局和初级生产力的影响——以黑岱沟露天煤矿为例.....

..... 康萨如拉,牛建明,张 庆,等 (2855)

三七对土壤中镉、铬、铜、铅的累积特征及健康风险评价 林龙勇,阎秀兰,廖晓勇,等 (2868)

某焦化场地土壤中多环芳烃分布的三维空间插值研究..... 刘 庚,毕如田,权 腾,等 (2876)

个体与基础生态

杉木人工混交林对土壤铝毒害的缓解作用 雷 波,刘 彬,罗承德,等 (2884)

基于 $\delta^{15}\text{N}$ 稳定同位素分析的人工防护林大型土壤动物营养级研究 张淑花,张雪萍 (2892)

铅镉抗性菌株 JB11 强化植物对污染土壤中铅镉的吸收 金忠民,沙 伟,刘丽杰,等 (2900)

陕北地区石油污染土壤中不动杆菌属的筛选、鉴定及降解性能 王 虎,吴玲玲,周立辉,等 (2907)

祁连山高山植物根际土放线菌生物多样性..... 马爱爱,徐世健,敏玉霞,等 (2916)

新疆沙冬青 AM 和 DSE 真菌的空间分布 姜 桥,贺学礼,陈伟燕,等 (2929)

聚糠茶水剂对不同积温带玉米花后叶片氮同化的影响..... 高 娇,董志强,徐田军,等 (2938)

内蒙古河套灌区玉米与向日葵霜冻的关键温度..... 王海梅,侯 琼,云文丽,等 (2948)

四种类型栓皮栎栲胶含量..... 尹艺凝,张文辉,何景峰,等 (2954)

食物胁迫对翅二型丽斗蟋飞行肌和繁殖发育的影响..... 吴红军,赵吕权,曾 杨,等 (2963)

颜色对梨小食心虫产卵选择性的影响..... 杨小凡,马春森,范 凡,等 (2971)

缓释单萜类挥发物对落叶松毛虫行为及落叶松主要防御蛋白的影响..... 林 健,刘文波,孟昭军,等 (2978)

种群、群落和生态系统

黄土丘陵沟壑区不同植被恢复格局下土壤微生物群落结构 胡婵娟,郭 雷,刘国华 (2986)

刺参池塘底质微生物群落功能多样性的季节变化..... 闫法军,田相利,董双林,等 (2996)

基于 DGGE 技术的茯砖茶发花过程细菌群变化分析 刘石泉,胡治远,赵运林 (3007)

景观、区域和全球生态

中国区域间隐含碳排放转移..... 刘红光,范晓梅 (3016)

西南地区退耕还林工程主要林分 50 年碳汇潜力 姚 平,陈先刚,周永锋,等 (3025)

青海湖流域草地植被动态变化趋势下的物候时空特征..... 李广泳,李小雁,赵国琴,等 (3038)

黑龙江省温带森林火灾碳排放的计量估算..... 魏书精,罗碧珍,孙 龙,等 (3048)

三峡库区森林植被气候生产力模拟..... 潘 磊,肖文发,唐万鹏,等 (3064)

三峡水库支流拟多甲藻水华的形成机制..... 朱爱民,李嗣新,胡 俊,等 (3071)

流域库坝工程开发的生物多样性敏感度分区..... 李亦秋,鲁春霞,邓 欧,等 (3081)

城乡与社会生态

基于集对分析的京津冀区域可持续发展协调能力评价..... 檀菲菲,张 萌,李浩然,等 (3090)

江西省自然保护区发展布局空缺分析 黄志强,陆 林,戴年华,等 (3099)

鄱阳湖生态经济区生态经济指数评价 黄和平,彭小琳 ,孔凡斌,等 (3107)

基于有害干扰的中国省域森林生态安全评价..... 刘心竹,米 锋,张 爽,等 (3115)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 328 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2014-06



封面图说: 三峡库区森林植被——三峡地区属亚热带区域,山高坡陡、地形复杂、物种丰富,森林是其最重要的自然资源之一,其面积占到库区总面积的 37%左右,库区内现有森林可初步分为 2 个植被型组,8 个植被型,18 个群系组,44 个群系,102 个群丛,主要树种有马尾松、杉树、柏树等,低海拔处多为落叶阔叶林、常绿阔叶林,较高海拔分布有针阔混交林、针叶混交林、灌木林等,人工林主要有经济林、竹林等。对三峡库区森林气候生产力进行模拟,分析库区森林植被的生产力并进行预测,可以为三峡库区的生态建设决策提供科学依据。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@ 163.com

DOI: 10.5846/stxb201310132460

张淑花, 张雪萍. 基于 $\delta^{15}\text{N}$ 稳定同位素分析的人工防护林大型土壤动物营养级研究. 生态学报, 2014, 34(11): 2892-2899.

Zhang S H, Zhang X P. Study on the trophic levels of soil macrofauna in artificial protection forests by means of stable nitrogen isotopes. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(11): 2892-2899.

基于 $\delta^{15}\text{N}$ 稳定同位素分析的人工防护林 大型土壤动物营养级研究

张淑花^{1,2}, 张雪萍^{1,*}

(1. 哈尔滨师范大学地理环境遥感监测重点实验室, 哈尔滨 150025; 2. 绥化学院农业与水利工程学院, 绥化 152061)

摘要: 稳定同位素 $\delta^{15}\text{N}$ 是分析生态系统中的营养关系的重要方法。本研究采用该方法分析了人工防护林土壤动物的营养级及它们之间的营养关系。对 3 个地区人工杨树林 12 类大型土壤动物及其土壤、细根及植物枯落叶的稳定同位素 $\delta^{15}\text{N}$ 分析结果显示, 不同环境条件下土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 具有显著差异性 ($F=38.067, P<0.001$), 土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 值与土壤、植物细根及枯落叶 $\delta^{15}\text{N}$ 值之间有明显的相关性, 与全氮含量没有明显的相关性; 根据不同土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 值的状况, 12 种土壤动物在土壤生态系统中大都处于第二至第四营养级, 处于较低营养级位置的动物主要有大蚊幼虫 (Tipulidae larvae)、蚯蚓 (Lumbricidae)、金龟甲幼虫 (Scarabaeidae larvae) 等类群, 较高营养级的为蜈蚣 (Scolopendromorpha)、隐翅甲成虫 (Staphylinidae adult)、叩甲成虫 (Elateridae adult)、线蚓 (Enchytraeidae) 等动物, 同类土壤动物在不同样地中营养级位置存在一定的差异。

关键词: 稳定同位素; $\delta^{15}\text{N}$; 土壤动物; 营养级

Study on the trophic levels of soil macrofauna in artificial protection forests by means of stable nitrogen isotopes

ZHANG Shuhua^{1,2}, ZHANG Xueping^{1,*}

1 Key Laboratory of Geographical Resources and Environmental Remote Sensing, Harbin Normal University, Harbin 150025, China

2 College of Agricultural and Hydraulic Engineering, Suihua University, Heilongjiang Suihua 152061, China

Abstract: Stable isotope technology is a very effective method for ecological research, and the stable nitrogen (N) isotope ($\delta^{15}\text{N}$) is widely used to investigate food chains and food webs in ecosystems. In this study, $\delta^{15}\text{N}$ was used to analyze the trophic level of soil macrofauna in three artificial protection forests. The forests selected for this study belonged to three North Shelterbelts located in the Daowai and Acheng districts of Harbin, Heilongjiang Province. The total N and $\delta^{15}\text{N}$ of 12 soil macrofauna samples were investigated in the three sample forests in September 2010 and the corresponding values in soil, leaf litter and fine plant roots were also determined. The results showed that the $\delta^{15}\text{N}$ values of the soil macrofauna in each sample spanned a large range; between 2‰ and 6.40‰ in Wanbao, Daowai district, between -0.50‰ and 4.10‰ in Yangshu, Acheng district, and between 4.20‰ and 9.96‰ in Pingshan, Acheng district. The average values of $\delta^{15}\text{N}$ in the three samples varied greatly; 5.34‰, 1.88‰ and 8.45‰ in WanBao, Yangshu and Pingshan, respectively. Statistical analysis showed that the $\delta^{15}\text{N}$ of soil macrofauna under different conditions was significantly different ($F=38.067, P<0.001$) while the total N values of the macrofauna, soil, fine roots and leaf litter had no obvious difference ($F=0.190, P=0.828$) in the three plots. Correlation analysis showed a significant positive correlation of the total N values in the three samples. This indicates that the environmental differences had no influence on the total N content of the soil macrofauna.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41371072); 黑龙江省教育厅科学技术资助项目 (12521655)

收稿日期: 2013-10-13; **修订日期:** 2014-04-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hellozxp@163.com

The correlation analysis showed that the $\delta^{15}\text{N}$ values of the soil macrofauna had an obvious correlation with the $\delta^{15}\text{N}$ values of the soil, fine roots and leaf litter; the correlation coefficients were all >0.6 ($P<0.05$ or $P<0.01$). However, the $\delta^{15}\text{N}$ values had no correlation with the total N content or their correlation coefficients [$r=0.571$ ($P=0.026$), 0.295 ($P=0.285$) and 0.404 ($P=0.135$) in Wanbao, Pingshan and Yangshu, respectively]. This research shows that the $\delta^{15}\text{N}$ value of the environmental factors is an important element affecting the $\delta^{15}\text{N}$ values of the soil macrofauna while the total N content of the soil macrofauna has no effect on the $\delta^{15}\text{N}$ value. The different soil macrofauna of the three sample plots had specific correlations between the $\delta^{15}\text{N}$ value of the soil macrofauna, and the correlation coefficients [$r=0.819$ ($P=0.001$), $r=0.771$ ($P=0.003$) and $r=0.466$ ($P=0.127$) in Wanbao, Pingshan and Yangshu, respectively] meant that the $\delta^{15}\text{N}$ analysis could be used to determine trophic levels. Tipulidae larvae were selected as the primary consumer with 2.3‰ as the enrichment per trophic level to analyze the trophic level of the 12 soil macrofauna. The result showed that the trophic levels of the 12 soil macrofauna were from the second to the fourth level in the soil ecosystem. The animals in the low trophic levels mainly included Tipulidae larvae, Lumbricidae and Scarabaeidae larvae. The higher trophic levels had Scolopendromorpha, Staphylinidae adult stage, Elateridae adult stage and Enchytraeidae. The trophic positions of the same soil animals were diverse in different sample plots because the soil animals were in different feeding situations in different samples. Furthermore, the low classification rank was an important reason for the large differences in trophic level.

Key Words: stable isotope; $\delta^{15}\text{N}$; soil animal; trophic level

关于生态系统的物质循环和能量流动方面的研究一直是生态学者研究的重点,土壤动物作为土壤生物的重要组成部分,在土壤生态系统中发挥着重要的作用。生物之间营养关系是生物群落内各成员之间最为重要的联系方式,是群落赖以生存的基础,也是生态系统能量流动的核心^[1-2]。土壤动物之间的营养关系极其复杂,因其种类多、数量大、个体小以及栖息于地下环境等特点,使得人们关于土壤动物食物链和食物网的认识一直处于模糊状态^[3]。传统研究营养关系的方法是通过消化道内的食物成分进行分析来对食物进行确定,但因为不同的食物类型被消化吸收的速度不同,吸收速度快的食物的作用常常被低估^[4-5],而且对于土壤动物等这些体型较小的动物很难对他们进行胃含物的分析。

稳定同位素是天然存在于生物体内的不具有放射性的一类同位素,早在 20 世纪 70 年代末期稳定同位素技术就被引入到生态学研究领域,随着同位素技术应用越来越成熟,其在生态学研究中的重要性也日益突出。近年来,稳定性同位素技术被应用于分析生态系统中的营养关系,成为一种简单又实用,并且准确度较高的一种方法^[6],对推动生态系统功能研究具有重要意义。在食物链传递过程中,氮稳定同位素(^{15}N)通常随着营养等级升高而富集,并且每个营养级间具有相对恒定(1.5‰ — 3.0‰)的富

集效应^[7-8],通过对生态系统中不同生物类群 $\delta^{15}\text{N}$ 进行测定,能够准确的分析出不同生物的营养级位置,在研究生态系统食物结构及营养关系方面具有强大的作用,尤其是对一些体型较小生物类群的研究更体现出其独有的优势,目前该技术在很多类型生态系统的功能分析及食物网研究中都有一定的应用^[9-13],但该技术的应用还有很多不成熟的方面,如不同生态系统中生物 $\delta^{15}\text{N}$ 富集量的差异性、影响生物 $\delta^{15}\text{N}$ 值的因素等还没有一致的认识^[8,14]。土壤动物功能研究一直都是土壤动物生态学研究的重要内容之一,传统的研究方法无法对土壤动物之间的营养关系进行精确的认识,稳定同位素的应用使这一问题可以得到解决,但该研究方法在土壤生态系统研究中的应用还处于刚刚开始阶段,虽然如此,其在土壤动物营养关系研究方面的强大的功能和独特的优势已经被很多研究人员所认识,目前国外已有不少相关方面的研究报道^[14-18]。我国土壤动物研究起步较晚,在土壤动物功能方面研究还很薄弱,土壤动物营养关系的研究主要以定性划分功能类群为主^[19-20],定量确定不同土壤动物的营养级及它们之间的营养关系还没有研究,稳定同位素技术在土壤动物研究方面的应用目前还未有报道。

以杨树为主的人工防护林在防风固沙等方面发挥了重要作用^[21],但在不同的环境条件下,其群落

功能及林下生境的变化对土壤生态系统具有重要的影响,土壤动物作为土壤生态系统的重要组成部分和生态系统健康的重要指示生物,其群落组成与功能变化也是对防护林生态系统变化的一种响应。在先前对土壤动物功能类群研究有一定认识的基础上^[19,20],探索使用稳定氮同位素技术来分析土壤动物的功能关系,选择3处人工防护林作为土壤动物取样地,对其大型土壤动物的 $\delta^{15}\text{N}$ 及全氮值进行测定,同时测定了环境中土壤、细根及枯落叶的相应值,在此基础上分析了不同环境条件下土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 的差异性及与其它因素之间的关系,并对不同土壤动物的营养等级进行划分。本文研究旨在探索应用 ^{15}N 稳定同位素技术来划分土壤动物的营养等级,为推动土壤动物功能研究进一步发展,深入分析土壤动物的食物链关系和食物网结构及营养元素迁

移转化奠定一定的基础。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区域位于黑龙江省哈尔滨市的道外区和阿城区境内,属于东北松嫩平原和东部山地交接地带,地貌类型以平原和低山丘陵为主;气候属于中温带大陆性半湿润季风气候,年平均气温为 $3.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,多年平均降水量为 $500\text{--}600\text{ mm}$,降水主要集中在6—8月,约占全年降水量的65%,但不同年份的降水变率较大;土壤类型主要以黑土、草甸土等为主,0—5 cm层土壤有机质含量为5%—10%,为肥力水平较高的土壤。在研究区域内选择3处典型的人工防护林作为采样地,具体试验样地的环境特征见表1。

表1 试验样地环境特征

Table 1 The environment characteristics of test samples

样地 Sample plots	地理位置 Geographic position	海拔高度 Height above sea level/m	防护林类型 Protection forest type	防护林树高 Height of tree/m	造林年份 Forestation year	凋落物厚度 Forest litter thickness	土壤 pH 值 pH value of soil	表土层有机质/% Soil organic matter/%	表土层含水量 Soil moisture content/%
万宝镇	45°51'N, 126°25'E	118	杨树	25	2002	2 cm	7.03	6.93	15.27
杨树乡	45°28'N, 126°50'E	180	杨树	16	2005	3—4 cm	7.22	5.80	8.83
平山镇	45°19'N, 127°23'E	240	杨树	20	2003	5—6 cm	7.19	5.69	13.67

1.2 样品采集与处理

于2010年9月在所选样地内选择有代表性的地点设置样方8处,每个样方面积约为 $25\text{ cm}\times 50\text{ cm}$,对样方内土壤动物用手捡法进行分离,所分离出的土壤动物马上放入75%的酒精内进行杀死固定,带回室内进行分类鉴定。在3个样地获得的土壤动物中,选择共有的12个动物类群,对不同类群土壤动物逐一进行处理,蚯蚓、大蚊幼虫及金龟甲幼虫因其体内含有较多未消化物质,对这几类动物进行解剖,将肠道内未消化物剔除,其它动物类群未进行解剖处理,处理完的样品在 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘干24 h,并分别放入密封袋内使其保持干燥。植物细根、枯落叶用水将杂质清洗干净后, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下烘干,同样放入密封袋内;风干后的土壤样品用100目土壤筛进行处理后放入 $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温箱内烘干,置于密封袋内待进行同位素及全氮分析。

1.3 稳定同位素及全氮分析

试验样品的稳定同位素分析是在中国林科院稳定同位素比率质谱实验室进行,采用的仪器为美国Thermo Fisher Scientific公司的MAT253同位素比率质谱仪进行测定,氮稳定同位素比值以国际通用的 δ 值形式表达,测定原理为将样品在元素分析仪中高温燃烧后生成 N_2 ,质谱仪通过检测 N_2 的 ^{15}N 和 ^{14}N 比率,并与国际标准物(大气 N_2)对比后计算出样品的 $\delta^{15}\text{N}$ 比率值, $\delta^{15}\text{N}$ 计算的公式为:

$$\delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = \left[(R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}) / R_{\text{standard}} \right] \times 1000$$

式中, R_{sample} 为所测定样品的 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 比值, R_{standard} 为标准大气压下氮气的 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 比值,仪器测量结果误差小于 $\pm 0.2\text{‰}$,为了使数据具有可比性,每个样品进行了3次 $\delta^{15}\text{N}$ 值的测定,在应用质谱仪分析样品 $\delta^{15}\text{N}$ 的同时测定了其全氮含量值。

1.4 营养等级确定

营养等级确定的公式为:

$$TL = \lambda + (\delta^{15}\text{N}_{\text{consumer}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{baseline}}) / \Delta\delta^{15}\text{N}$$

式中, $\delta^{15}\text{N}_{\text{baseline}}$ 为生态系统食物网的初级生产者或初级消费者的氮稳定同位素比率, $\lambda = 1$ 时, baseline 为初级生产者, $\lambda = 2$ 时, baseline 为初级消费者, $\Delta\delta^{15}\text{N}$ 为营养等级富集度。

环境条件的差异使不同生态系统具有不同的 $\delta^{15}\text{N}$ 营养等级富集度, 有研究认为 $\delta^{15}\text{N}$ 富集度的平均数为 3.4‰ ^[22], 但学者对不同地区、不同类群的动物研究得出不同的结果^[9-13], 植食性、肉食性和杂食性生物对 $\delta^{15}\text{N}$ 的富集量没有明显的区别, 但腐食性生物对 $\delta^{15}\text{N}$ 的富集效应明显偏低^[9,23]; Tiuno A.V. 对不同地区不同类群土壤动物随食物链的富集状况进行了总结, 结果显示第一级消费者的 $\delta^{15}\text{N}$ 比其食物增加 $0\text{—}5\text{‰}$, 捕食性生物相对于所捕食食物来说 $\delta^{15}\text{N}$ 富集量约为 $2.4\text{‰—}7.6\text{‰}$ ^[14]。

在本研究的 3 个样地中, 土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 值最低的是大蚊幼虫, 而大多数大蚊幼虫是取食植物根系或是腐败植物, 因此本文将其定为初级消费者, 3 个样地大蚊幼虫与枯落叶和植物细根之间的平均差值分别为 1.86‰ 和 0.48‰ , 结合前人对 $\delta^{15}\text{N}$ 在相邻营养级的富集量的研究^[8,14], 本文选择 2.3‰ 作为富集量进行分析。将数据带入公式, 即得到下式:

$$TL = 2 + (\delta^{15}\text{N}_{\text{消费者}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{大蚊幼虫}}) / 2.3$$

式中, 2 为大蚊幼虫的营养级水平, 2.3 为 $\delta^{15}\text{N}$ 富集

因子。

1.5 数据处理

本文相关系数采用 Pearson 相关分析, 使用双尾检验 (2-tailed) 其相关显著性, $P > 0.05$ 表明不具有相关性, $P < 0.05$ 表明显著相关, $P < 0.01$ 表明极显著相关。不同样地之间的差异性以单因素方差分析 (F 检验) 进行统计, $P > 0.05$ 说明无显著差异, $P < 0.05$ 说明差异显著, $P < 0.01$ 说明差异极显著。文中数据处理和统计分析主要使用 SPSS 和 Excel 软件进行。

2 结果与分析

2.1 结果

2.1.1 $\delta^{15}\text{N}$ 测定结果

利用同位素质谱仪对 3 处防护林样地的土壤、细根、枯落叶及 12 种土壤动物进行了氮稳定同位素测定, 将其与标准值相比较得出 $\delta^{15}\text{N}$ 结果见图 1。从图 1 可以看出, 不论是在哪个样地, 土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 值的跨度范围均较大, 万宝镇土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 值范围在 $2.00\text{‰—}6.40\text{‰}$ 之间, $\delta^{15}\text{N}$ 值最小的是大蚊幼虫 (Tipulidae larvae), 最大的为线蚓; 杨树乡 $\delta^{15}\text{N}$ 范围在 $-0.50\text{‰—}4.10\text{‰}$ 之间, 最小值是蚯蚓, 最大值是蜘蛛; 平山镇 $\delta^{15}\text{N}$ 范围在 $4.20\text{‰—}9.96\text{‰}$ 之间, 最小值为大蚊幼虫, 最大值为隐翅甲成虫, 不同土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 值在 3 个样地变化趋势有一定的差异, 但整体上表现出一定的相似性, 叩甲科 (Elateridae) 幼虫及成虫、线蚓、蜈蚣 (Scolopendromorpha)、隐翅甲等动

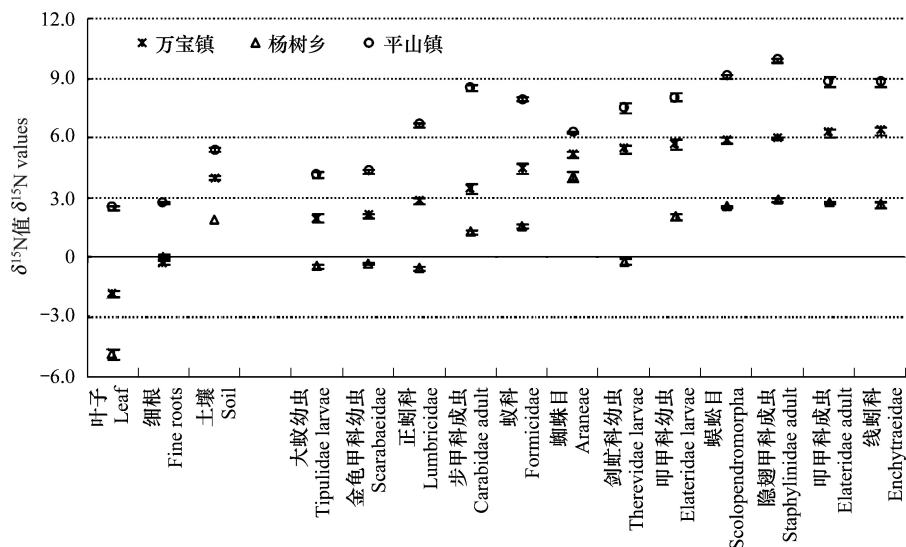


图 1 不同取样地土壤动物及环境的 $\delta^{15}\text{N}$ 值

Fig.1 The $\delta^{15}\text{N}$ values of soil fauna and environment in different samples

物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值较高,而大蚊幼虫、金龟甲幼虫 (Scarabaeidae)、蚯蚓等 $\delta^{15}\text{N}$ 值较低,这是由于不同类群的土壤动物在土壤生态系统中具有不同的食性特征,处于不同的营养级位置。3 个样地中土壤动物的 $\delta^{15}\text{N}$ 平均值相差较大,万宝镇土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 的平均值为 5.34‰,杨树乡为 1.88‰,平山镇为 8.45‰,平均值相差值最大达 6.57‰。

对 3 个样地的土壤、枯落叶和细根的 $\delta^{15}\text{N}$ 值进行分析,发现在 3 个样地中土壤的 $\delta^{15}\text{N}$ 均高出枯落叶和细根的值, $\delta^{15}\text{N}$ 值大小变化顺序表现为枯落叶 < 细根 < 土壤,这与 Pollierer M. M. 等人对瑞士森林生

态系统的研究结果一致^[3]。

2.1.2 全氮测定结果

对不同样地的土壤动物和环境全氮进行测定,结果见图 2,从图 2 可以看出,土壤动物在不同样地全氮值差异不明显 ($F=0.190, P=0.828$),土壤、枯落叶和细根的全氮值也有相同的表现,对 3 个样地的全氮值进行相关性分析显示,万宝镇与杨树乡之间相关系数 $r=0.920 (P<0.01)$,与平山镇的相关系数为 $r=0.963 (P<0.01)$,杨树乡与平山镇的相关系数 $r=0.974 (P<0.01)$,说明全氮含量在不同样地之间呈现明显的正相关性。

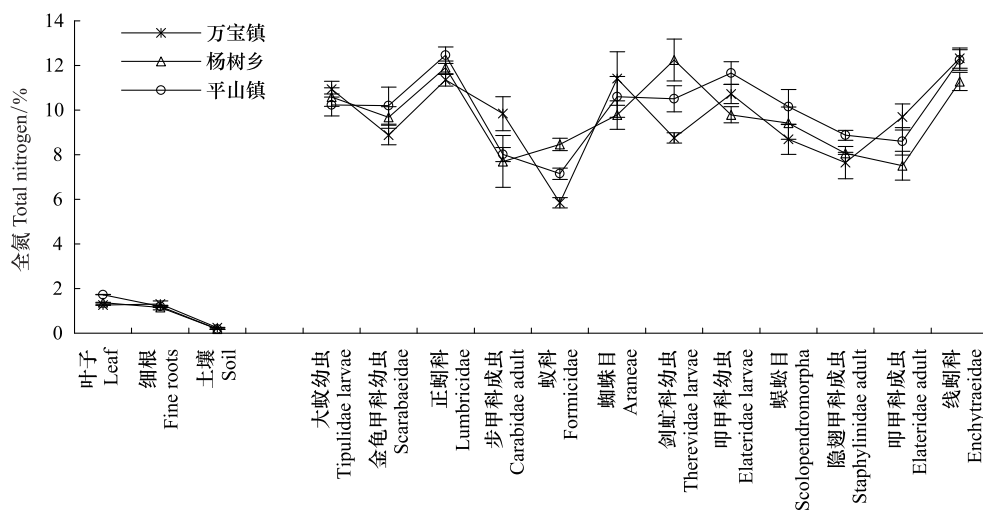


图 2 不同取样地土壤动物及环境的全氮值

Fig.2 The total nitrogen of soil fauna and environment in different samples

2.2 分析

2.2.1 土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 与其它因素关系分析

分别对 3 个样地的土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 值与土壤、枯落叶及细根 $\delta^{15}\text{N}$ 值进行相关分析,结果显示不论是哪种土壤动物,其 $\delta^{15}\text{N}$ 值与土壤、枯落叶及细根之间都具有明显的相关性,相关系数 R 值均在 0.6 以上 ($P<0.05$ 或 $P<0.01$);对不同样地中土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 值进行差异分析显示,不同样地之间土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 值差异显著 ($F=38.067, P<0.001$),这说明样地环境的 $\delta^{15}\text{N}$ 值对土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 具有一定的影响。

对不同样地的土壤动物和环境 $\delta^{15}\text{N}$ 值与他们相应的全氮值进行相关性分析,结果显示万宝镇 $\delta^{15}\text{N}$ 值与全氮值的相关系数 $r=0.571 (P=0.026)$,杨树乡和平山镇 $\delta^{15}\text{N}$ 值与全氮值的相关系数分别为 0.295 ($P=0.285$) 和 0.404 ($P=0.135$),这说明分析

样品中 $\delta^{15}\text{N}$ 值与其全氮含量无明显的相关性,这与 Chahartaghi M. 等人对于德国黑森州 (Hesse-Darmstadt) 和下萨克斯州 (Lower Saxony) 的 3 处不同山毛榉 (栎-山毛榉) 样地中跳虫的 $\delta^{15}\text{N}$ 和全氮关系的分析结果相同^[16]。

对 3 个样地的土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 值进行相关性分析显示万宝镇和平山镇及杨树乡之间相关性明显,相关系数分别为 $r=0.819 (P=0.001)$ 和 $r=0.771 (P=0.003)$,平山镇和万宝镇之间的相关系数 $r=0.466 (P=0.127)$,由此可以说明,虽然土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 值在不同样地之间差异较大,但它们之间的联系在不同样地中具有一些相同表现,不同样地土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 值的相关系数较高,这使得通过分析不同土壤动物类群 $\delta^{15}\text{N}$ 值来确定其营养级成为可能。

2.2.2 土壤动物营养级分析

本研究对 12 类大型土壤动物的 $\delta^{15}\text{N}$ 进行分析,

它们的营养关系有直接联系,但更多情况是间接的联系,基于此,仅对它们进行营养级的划分而未进行

食物网关系的确定。采用前述方法对 12 种大型土壤动物的营养级进行划分,结果见图 3。

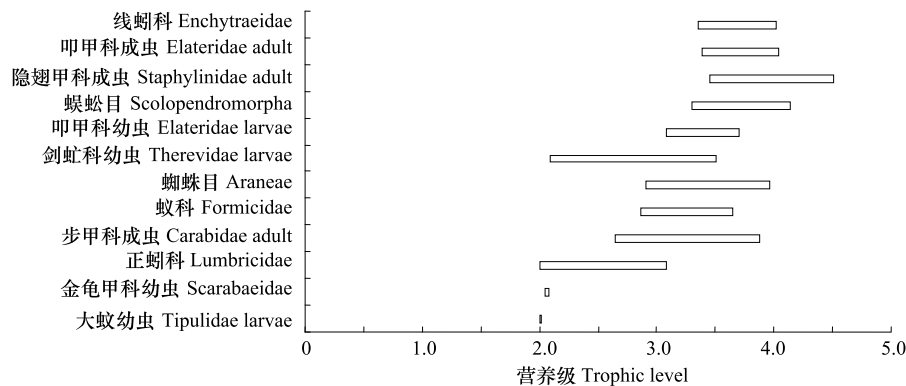


图 3 不同类型土壤动物营养级

Fig.3 The nutrition levels of different types of soil fauna

对图 3 分析可以看出,参与试验的 12 类大型土壤动物营养级差异较大,大多数类群是处于第 2—4 营养级之间,也有超过第 4 营养级,其中处于较低营养级的类群主要有大蚊幼虫、金龟甲幼虫、蚯蚓等,处于较高营养级的动物主要有蜈蚣、隐翅甲成虫、叩甲成虫、线蚓等类群。同一类动物在不同样地营养级划分上有一定的差异,有的甚至相差 1 个以上的营养级,原因是由于每类土壤动物在不同样地存在取食方面的差异性,此外分类不够细化也是导致其营养级差异较大的原因。

3 讨论

同一类群的不同物种在食性方面可能有很大的差别,导致它们之间 $\delta^{15}\text{N}$ 值也可能存在很大的差别,因此,在运用 $\delta^{15}\text{N}$ 分析土壤动物营养级的研究中一般对于生物分类要求较高,一般要求划分到种的分类水平^[14]。但很多同属于一个类群的动物在食性方面具有很大的相似性,因此通过氮稳定同位素分析方法能够大致确定不同类群土壤动物的营养级位置,但要想准确的分析生物之间的营养关系,对生物分类方面就有着较严格的要求^[14,18]。本文通过对几类大型土壤动物及其生存环境的土壤、细根和枯落叶的 $\delta^{15}\text{N}$ 及全氮含量进行分析,能够对几类土壤动物的营养级位置初步确定,并对影响土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 的因素进行分析。

影响土壤有机氮同位素组成的因素包括早期成岩作用和其它环境因子以及有机氮的来源、外源有

机氮的输入等方面^[24-25],土壤动物生存地 $\delta^{15}\text{N}$ 值直接影响其食物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值的大小^[16,24],这导致不同样地土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 值差异较大,本文研究结果显示 3 个研究样地土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 差异显著 ($F = 38.067, P < 0.001$)。土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 值与土壤、植物细根和枯落叶的 $\delta^{15}\text{N}$ 值之间具有明显的相关性,与土壤动物体内的全氮含量间不具有相关性^[16],这一点在本研究中也得到了证实。3 个样地的土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 值具有明显的相关性,这为通过分析不同土壤动物类群 $\delta^{15}\text{N}$ 值来确定其营养级提供可能条件。土壤是自然界中物种丰富度最高的生态系统之一,因其生物种类和数量多、个体小等原因,导致到目前为止人们对于土壤生态系统中生物之间关系的研究一直处于模糊状态^[3],这严重阻碍了土壤生态系统功能研究的进展,随着现代先进技术手段在生态学中的应用,尤其是稳定同位素技术的应用,使得探索土壤生物之间的功能关系有了可能^[6,25]。土壤生态系统作为地下生态系统,其动物的营养来源与地表生态系统有明显的差异,在地表陆地上第一营养级主要是植物,在水生生态系统中,第一营养级主要是浮游生物^[4],但在土壤生态系统中第一营养级可能是新鲜的植物,可能是腐败的枯落叶,也可能是真菌等微生物,而且在自然界中一种生物的食物源往往有多种类型^[26],同一土壤动物在不同时空条件下可能有着不同的取食对象,有时不同的土壤动物还会取食相同的食物,这使得土壤动物食物网结构非常复杂^[27]。根据 $\delta^{15}\text{N}$ 值在食物链传递过程中具有富集效应的理论能够划

分土壤动物的营养级,但不同类群生物对 $\delta^{15}\text{N}$ 富集程度差异较大,软体动物富集量为 1.2‰,甲壳类动物约为 2.0‰,昆虫约为 2.7‰,而脊椎动物约为 2.4‰—3.0‰,捕食性动物、植食性动物和杂食性动物的 $\delta^{15}\text{N}$ 富集量差异不大,分别为 2.69‰、2.98‰和 2.56‰,而腐食性动物的富集量明显偏低 (0.53‰)^[14,28-29],即便是同一种类群,在不同的研究区域也存在一定差异性,如同样对跳虫的富集量研究存在很大的差异,Ruess L. 等研究的富集量为 -2.0‰—3.5‰^[30],而 Haubert D. 等研究的富集量为 2.4‰—6.3‰^[31],本文以大蚊幼虫作为初级消费者,结合前人对 $\delta^{15}\text{N}$ 富集量的研究及本试验结果,选择 2.3‰ 作为土壤动物 $\delta^{15}\text{N}$ 富集量,比大蚊幼虫与枯落叶和细根之间的 $\delta^{15}\text{N}$ 差值稍大,这使土壤动物营养级的位置可能偏低。

稳定同位素技术的发展为生态学者进一步深入研究生态系统特征与过程提供了条件,应用 $\delta^{15}\text{N}$ 分析土壤动物营养关系方面的研究还有很多问题需要探讨,仅依靠 $\delta^{15}\text{N}$ 很难准确的分析出不同生物之间的营养关系,很多研究将 $\delta^{15}\text{N}$ 与 $\delta^{13}\text{C}$ 结合进行生物营养关系的研究^[3,9,13,15],由于自然条件下生态系统食物网关系的复杂性,仅依靠碳、氮稳定同位素分析也很难完成对食物网结构的全面认识,多种同位素协同分析(如 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{34}\text{S}$ 、 δD 等)可能会更有助于认清生态系统的食物网关系,但这方面的研究还处于探索阶段^[14,32-34]。本文应用 ^{15}N 稳定同位素技术分析不同类型土壤动物营养级及 $\delta^{15}\text{N}$ 的影响因素,是同位素技术在土壤动物营养关系研究方面应用的初步探讨,因调查的土壤动物种类有限,只涉及部分大型土壤动物而没有包括中型及小型类群,分类研究工作进行的也不够深入,土壤动物的食物源只分析了土壤、细根和枯落叶,其它可能的食物源(如细菌、真菌、藻类等)没有进行分析,这些因素导致本研究未能对土壤动物的食物网关系进行分析。

References:

- [1] Fu S L. A review and perspective on soil biodiversity research. *Biodiversity Science*, 2007, 15(2): 109-115.
- [2] Yin X Q, Song B, Dong W H, Xin W D, Wang Y Q. A review on the eco-geography of soil fauna in China. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, 20(3): 333-346.
- [3] Pollierer M M, Langel R, Scheu S, Maraun M. Compartmentalization of the soil animal food web as indicated by dual analysis of stable isotope ratios ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$). *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(6): 1221-1226.
- [4] Yang J M. A study on food and trophic levels of Bohai Sea invertebrates. *Modern Fisheries Information*, 2001, 16(9): 8-16.
- [5] Yan Y R, Lu H S, Jin X S. Marine fish feeding ecology and food web: Progress and perspectives. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(1): 145-153.
- [6] Yi X F, Zhang X A. Application of stable isotopic approach in ecology: a review. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(3): 306-314.
- [7] Hood-Nowotny R, Knols B G J. Stable isotope methods in biological and ecological studies of arthropods. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2007, 124(1): 3-16.
- [8] McCutchan J H, Lewis W M, Kendall C, McGrath C C. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. *Oikos*, 2003, 102(2): 378-390.
- [9] Li D H, Su X M. The studies on the food web structures and trophic relationships in Guangxi Dongfang Cave by means of stable carbon and nitrogen isotopes. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(11): 3497-3504.
- [10] Ke Z X, Hung L M, Xu J, Ma Y E. The stable nitrogen isotope of size-fractionated plankton and its relationship with biomass during winter in Daya Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(22): 7102-7108.
- [11] Darby B J, Neher D A. Stable isotope composition of microfauna supports the occurrence of biologically fixed nitrogen from cyanobacteria in desert soil food webs. *Journal of Arid Environments*, 2012, 85: 76-78.
- [12] Poste A E, Muir D C G, Mbabazi D, Hechy R E. Food web structure and mercury trophodynamics in two contrasting embayments in northern Lake Victoria. *Journal of Great Lakes Research*, 2012, 38(4): 699-707.
- [13] Klammer B, Maraun M, Scheu S. Trophic diversity and niche partitioning in a species rich predator guild-Natural variations in stable isotope ratios ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) of mesostigmatid mites (Acari, Mesostigmata) from Central European beech forests. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, 57: 327-333.
- [14] Tiunio A V. Stable isotopes of carbon and nitrogen in soil ecological studies. *Biology Bulletin*, 2007, 34(4): 395-407.
- [15] Heiner B, Drapela T, Frank T, Zaller J G. Stable isotope ^{15}N and ^{13}C labelling of different functional groups of earthworms and their casts: A tool for studying trophic links. *Pedobiologia*, 2011, 54(3): 169-175.
- [16] Chahartaghi M, Langel R, Scheu S, Ruess L. Feeding guilds in Collembola based on nitrogen stable isotope ratios. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(9): 1718-1725.
- [17] Caner L, Zeller B, Dambrine E, Ponge J F, Chauvat M, Llanque C. Origin of the nitrogen assimilated by soil fauna living in

- decomposing beech litter. *Soil Biology & Biochemistry*, 2004, 36 (11): 1861-1872.
- [18] Scheu S, Falca M. The soil food web of two beech forests (*Fagus sylvatica*) of contrasting humus type: stable isotope analysis of a macro-and a mesofauna-dominated community. *Oecologia*, 2000, 123(2): 285-296.
- [19] Zhang X P, Hou W L, Chen P. Soil animal guilds and their ecological distribution in the northeast of China. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2001, 7(4): 370-374.
- [20] Zhang S H, Zhang X P. Guilds of soil macro-animals in burned forest areas in Daxing'an Mountains. *Journal of Northeast Forestry University*, 2011, 39(8): 70-72.
- [21] Du H Q, Han Z W, Yan C Z, Deng X H, Song X, Liao J. Effects of wind prevention by the northwest shelterbelt. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2010, 30(1): 117-120.
- [22] Vander Zanden M J, Rasmussen J B. Variation in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ trophic fractionation: implications for aquatic food web studies. *Limnology and Oceanography*, 2001, 46(8): 2061-2066.
- [23] Vanderklift M A, Ponsard S. Sources of variation in consumer-diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: a meta-analysis. *Oecologia*, 2003, 136(2): 169-182.
- [24] Briones M J I, Bol R, Sleep D, Allen D, Sampedro L. Spatio-temporal variation of stable isotope ratios in earthworms under grassland and maize cropping systems. *Soil Biology & Biochemistry*, 2001, 33(12/13): 1673-1682.
- [25] Lin G H. Stable isotope ecology: a new branch of ecology resulted from technology advances. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(2): 119-122.
- [26] Phillips D L, Gregg J W. Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources. *Oecologia*, 2003, 136(2): 261-269.
- [27] Liu C H, Liu S P, Wang X J, Chen Z L, Lian Z M. The soil fauna guilds and its ecological regulation of pests at jujube forest in northern region of Shanxi. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(2): 316-319.
- [28] Halaj J, Peck R W, Niwa C G. Trophic structure of a macroarthropod litter food web in managed coniferous forest stands: a stable isotope analysis with $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$. *Pedobiologia*, 2005, 49(2): 109-118.
- [29] Seeber J, Seeber G U H, Kössler W, Langel R, Scheu S, Meyer E. Abundance and trophic structure of macro-decomposers on alpine pastureland (Central Alps, Tyrol): effects of abandonment of pasturing. *Pedobiologia*, 2005, 49(3): 221-228.
- [30] Ruess L, Häggblom M M, Langel R, Scheu S. Nitrogen isotope ratios and fatty acid composition as indicators of animal diets in belowground systems. *Oecologia*, 2004, 139(3): 336-346.
- [31] Haubert D, Langel R, Scheu S, Ruess L. Effects of food quality, starvation and life stage on stable isotope fractionation in Collembola. *Pedobiologia*, 2005, 49(3): 229-237.
- [32] Polierer M M, Langel R, Körner C, Maraun M, Scheu S. The underestimated importance of belowground carbon input for forest soil animal food webs. *Ecology Letters*, 2007, 10(8): 729-736.
- [33] Arneson L S, MacAvoy S E. Carbon, nitrogen, and sulfur diet-tissue discrimination in mouse tissues. *Canadian Journal of Zoology*, 2005, 83(7): 989-995.
- [34] Birchall J, O'Connell T C, Heaton T H E, Hedges R E M. Hydrogen isotope ratios in animal body protein reflect trophic level. *Journal of Animal Ecology*, 2005, 74(5): 877-881.

参考文献:

- [1] 傅声雷. 土壤生物多样性的研究概况与发展趋势. *生物多样性*, 2007, 15(2): 109-115.
- [4] 杨纪明. 渤海无脊椎动物的食性和营养级研究. *现代渔业信息*, 2001, 16(9): 8-16.
- [5] 颜云榕, 卢伙胜, 金显仕. 海洋鱼类摄食生态与食物网研究进展. *水产学报*, 2011, 35(1): 145-153.
- [6] 易现峰, 张晓爱. 稳定性同位素技术在生态学上的应用. *生态学杂志*, 2005, 24(3): 306-314.
- [9] 黎道洪, 苏晓梅. 应用稳定同位素研究广西东方洞食物网结构和营养级关系. *生态学报*, 2012, 32(11): 3404-3497.
- [10] 柯志新, 黄良民, 徐军, 马艳娥. 大亚湾冬季不同粒级浮游生物的氮稳定同位素特征及其与生物量的关系. *生态学报*, 2012, 32(22): 7102-7108.
- [19] 张雪萍, 侯威岭, 陈鹏. 东北森林土壤动物同功能种团及其生态分布. *应用与环境生物学报*, 2001, 7(4): 370-374.
- [20] 张淑花, 张雪萍. 大兴安岭森林火烧迹地大型土壤动物功能类群. *东北林业大学学报*, 2011, 39(8): 70-72.
- [21] 杜鹤强, 韩致文, 颜长珍, 邓晓红, 宋翔, 廖杰. 西北防护林防风效应研究. *水土保持通报*, 2010, 30(1): 117-120.
- [25] 林光辉. 稳定同位素生态学: 先进技术推动的生态学新分支. *植物生态学报*, 2010, 34(2): 119-122.
- [27] 刘长海, 刘世鹏, 王晓润, 陈宗礼, 廉振民. 陕北枣林土壤动物功能类群及其害虫生态调控. *土壤通报*, 2011, 42(2): 316-319.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.11 June, 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Review on macropore flow in soil GAO Zhaoxia, XU Xuexuan, ZHAO Jiaona, et al (2801)

Ecological Restoration

A summary of study on ecological restoration technology of large coal bases construction in China
..... WU Gang, WEI Dong, ZHOU Zhengda, et al (2812)

The ecology and environment monitoring technical systems in national large-scale coal-fired power base: a case study in Xilingol
League, Inner Mongolia WEI Dong, QUAN Yuan, WANG Chenxing, et al (2821)

Evaluation index system on ecological effect of national large-scale coal-fired power base based on the dpsir conceptual model
..... ZHOU Zhengda, WANG Chenxing, FU Xiao, et al (2830)

Research progress on the environment impacts from underground coal mining in arid western area of China
..... LEI Shaogang, BIAN Zhengfu (2837)

Ecological risk receptors analysis of pingzhuang western open-cut coal mining area in inner mongolia
..... GAO Ya, LU Zhaohua, WEI Zhenkuan, et al (2844)

Impacts of mining on landscape pattern and primary productivity in the grassland of Inner Mongolia: a case study of Heidaigou
open pit coal mining KANG Sarula, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (2855)

Accumulation of soil Cd, Cr, Cu, Pb by *Panax notoginseng* and its associated health risk
..... LIN Longyong, YAN Xiulan, LIAO Xiaoyong, et al (2868)

3D interpolation of soil PAHs distribution in a coking contaminated site of China ... LIU Geng, BI Rutian, QUAN Teng, et al (2876)

Autecology & Fundamentals

Catabatic effect from artificial mixed plantation of *Cunninghamia lanceolata* on soil aluminum toxicity
..... LEI Bo, LIU Bin, LUO Chengde, et al (2884)

Study on the trophic levels of soil macrofauna in artificial protection forests by means of stable nitrogen isotopes
..... ZHANG Shuhua, ZHANG Xueping (2892)

Lead- and cadmium-resistant bacterial strain JB11 enhances lead and cadmium uptake in the phytoremediation of soils
..... JIN Zhongmin, SHA Wei, LIU Lijie, et al (2900)

Identification and oil-degrading performance of *Acinetobacter* sp. isolated from North Shaanxi oil-contaminated soil
..... WANG Hu, WU Lingling, ZHOU Lihui, et al (2907)

Phylogenetic and physiological diversity of actinomycetes isolated from plant rhizosphere soils in the Qilian Mountains
..... MA Aiai, XU Shijian, MIN Yuxia, et al (2916)

Spatial distribution of AM and DSE fungi in the rhizosphere of *Ammopiptanthus nanus*
..... JIANG Qiao, HE Xueli, CHEN Weiyan, et al (2929)

Effects of PASP-KT-NAA on maize leaf nitrogen assimilation after florescence over different temperature gradients
..... GAO Jiao, DONG Zhiqiang, XU Tianjun, et al (2938)

Key temperatures of corn and sunflower during cooling process in Hetao irrigation district, Inner Mongolia
..... WANG Haimei, HOU Qiong, YUN Wenli, et al (2948)

The content of tannin extract in four types of *Quercus variabilis* YIN Yining, ZHANG Wenhui, HE Jingfeng, et al (2954)

Effect of food stress on flight muscle and reproduction development in a wing dimorphic cricket, *Velarifictorus ornatus*
..... WU Hongjun, ZHAO Lüquan, ZENG Yang, et al (2963)

- Effect of colours on oviposition preference of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* Busck YANG Xiaofan, MA Chunsen, FAN Fan, et al (2971)
- Monoterpene volatiles affecting host selection behavior of *Dendrolimus superans* and the activities of defense protein in larch needles LIN Jian, LIU Wenbo, MENG Zhaojun, et al (2978)
- Population, Community and Ecosystem**
- Soil microbial community structure under different vegetation restoration patterns in the loess hilly area HU Chanjuan, GUO Lei, LIU Guohua (2986)
- Seasonal variation of functional diversity of microbial communities in sediment and shelter of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) cultural ponds YAN Fajun, TIAN Xiangli, DONG Shuanglin, et al (2996)
- Analysis of bacterial flora during the fahua-fermentation process of fuzhuan brick tea production based on DGGE technology LIU Shiquan, HU Zhiyuan, ZHAO Yunlin (3007)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- CO₂ emissions transfer embedded in inter-regional trade in China LIU Hongguang, FAN Xiaomei (3016)
- Carbon sequestration potential of the major stands under the Grain for Green Program in Southwest China in the next 50 years YAO Ping, CHEN Xiangang, ZHOU Yongfeng, et al (3025)
- Characteristics of spatial and temporal phenology under the dynamic variation of grassland in the Qinghai Lake watershed LI Guangyong, LI Xiaoyan, ZHAO Guoqin, et al (3038)
- Estimates of carbon emissions caused by forest fires in the temperate climate of Heilongjiang Province, China, from 1953 to 2012 ... WEI Shujing, LUO Bizhen, SUN Long, et al (3048)
- Simulation of the climatic productivity of forest vegetation in Three Gorges Reservoir area PAN Lei, XIAO Wenfa, TANG Wanpeng, et al (3064)
- The mechanism for occurrence of *Peridiniopsis* blooms in the tributaries of Three Gorges Reservoir ZHU Aimin, LI Sixin, HU Jun, et al (3071)
- Biodiversity sensitivity zoning of river dam and reservoir engineering development ... LI Yiqiu, LU Chunxia, DENG Ou, et al (3081)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Assessment on coordinative ability of sustainable development of Beijing-Tianjin-Hebei Region based on set pair analysis TAN Feifei, ZHANG Meng, LI Haoran, et al (3090)
- Vacancy analysis on the development of nature reserves in Jiangxi Province HUANG Zhiqiang, LU Lin, DAI Nianhua, et al (3099)
- Evaluation of ecological economy index in the poyang lake ecological economic zone HUANG Heping, PENG Xiaolin, KONG Fanbin, et al (3107)
- Research on China's provincial forest ecological security appraisal based on the detrimental interferences LIU Xinzhu, MI Feng, ZHANG Shuang, et al (3115)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 34 卷 第 11 期 (2014 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 11 (June, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行人

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元